

## 明 細 書

## ドップラー式超音波流量計

## 技術分野

- [0001] 本発明は、超音波のドップラーシフトを利用して被測定流体の流量を測定するドップラー式超音波流量計に関し、特に、被測定流体の流れが非対称である場合においても測定が可能なドップラー式超音波流量計に関する。

## 背景技術

- [0002] 被測定流体の流量を測定する際の、応答性の優れた流量計として、ドップラー式超音波流量計がある。ドップラー式超音波流量計が被測定流体の流量を測定する原理について、図1を参照して説明する。
- [0003] まず、不図示の発振器にて所定の周波数(基本周波数) $f_0$ を発生させ、この基本周波数 $f_0$ の周波数をエミッタ(不図示)に通す。生成された基本周波数 $f_0$ のパルス電気信号が、発信器121に入力される。パルス電気信号を印加することにより、発信器121から被測定流体の流れる配管102内に対し、基本周波数 $f_0$ のパルス電気信号が出力される。パルス電気信号は、超音波トランスジューサ103で超音波パルスに変換され、配管102内に測定線MLに沿って入射される。
- [0004] 入射された超音波パルスは、配管102内の気泡等のトレーサ(反射体)により反射される。反射した超音波エコーは、超音波トランスジューサ103によって受信される。受信された超音波エコーは、超音波トランスジューサ103でエコー電気信号に変換される。変換されたエコー電気信号は、図1では不図示の増幅器で増幅され、A/D変換器122でデジタルエコー信号に変換される。デジタルエコー信号は、流速演算回路123に入力される。
- [0005] 流速演算回路123では、発信器121から配管102内に入射された基本周波数 $f_0$ の電気信号と反射波から得られたデジタルエコー信号とが比較される。デジタルエコー信号の周波数は、配管102内で速度をもって流れる被測定流体間を通過することにより、シフトされている。2つの信号の周波数差から被測定流体の流速を算出する。
- [0006] 流速分布演算回路124で、測定線MLに沿った、反射波の測定領域における流速

分布を得る。得られた流速分布を、超音波の入射角  $\alpha$  で校正し、配管102の中心軸に垂直な断面における流速分布を得る。ある時刻における流量は、得られた流速分布を配管102の中心軸に垂直な断面積について積分することによって得られる。

[0007] 超音波トランスジューサ103が配置された側の配管102の壁近傍においては、流速分布が正しく得られない。これは、超音波トランスジューサ103内の超音波素子から出た超音波が、超音波トランスジューサ103端面や配管102の内壁面で反射し、配管102内の粒子から散乱された正規の超音波信号に対して大きなノイズとなり、ドップラー信号が正しく得られないためである。

[0008] かかる問題を解決するドップラー式超音波流量計として、配管の軸方向の中心に関し、ある一方の側の流量は他方の側の流量と対称であるという前提の下で、流速分布を表示させることのできるドップラー式超音波流量計について開示されている(例えば、特許文献1)。図2は、その表示の一例である。超音波トランスジューサが配置されているためノイズの大きくなる配管の管壁近傍の流速について、ノイズの比較的小さい側の流速と配管の軸方向の中心に関し対称であるとの前提の下で流速分布を求め、モニタ等に表示させる。

[0009] 上記問題を解決する他のドップラー式超音波流量計としては、ノイズが大きくなる管壁近傍側の流速分布については、ノイズが小さい管壁側の流速分布データを外挿するドップラー式超音波流量計について開示されている(例えば、特許文献2)。図3は、特許文献2のドップラー式超音波流量計により検出された流速分布および修正された流速分布を表す。図3(A)の流速分布を示すノイズの大きい流速分布( $X_n$ の領域)については、流量の算出に用いられない。同図の(C)を外挿して値を補正する。ノイズの小さい領域( $X_m$ の領域)については、(B)は正常な値の流速分布であるとしてそのまま流量の算出に使用する。この方法により、超音波トランスジューサが配置される側の管壁近傍の、測定精度の低下を補うことができる。

特許文献1:特開2004-12204号公報

特許文献2:特開平10-281832号公報

[0010] 上記の従来技術は、配管の中心軸に関し、超音波トランスジューサが配置されている側と反対側とで流速分布が対称とみなすことができる場合にしか利用することができ

ない。また、被測定流体の流れが曲がっている箇所や流れが合流する箇所については適用することができない。

#### 発明の開示

- [0011] 本発明は、被測定流体の流れが曲がっている箇所や流れが合流する箇所であっても流量を正しく測定することのできるドップラー式超音波流量計を提供することにある。
- [0012] 本発明のドップラー式超音波流量計は、超音波のドップラーシフトを利用して被測定流体の流量を測定するドップラー式超音波流量計に関し、超音波の送信および超音波が反射した超音波エコーの受信を行う1対の超音波トランスジューサを備え、該1対の超音波トランスジューサは、ドップラーシフトの測定を行う測定線の延長線上に、内部を被測定流体が流れる配管の中心軸をはさんで対称に、かつ該配管の外側に配置され、前記配管の中心軸に関し各超音波トランスジューサが配置されている側とは反対側についての流速分布を、被測定流体の流量の算出に使用することを特徴とする。
- [0013] 超音波トランスジューサから超音波を配管内に入射させると、配管内の気泡等のトレーサにより反射した超音波エコーは、超音波を入射させた超音波トランスジューサで受信される。受信された超音波エコーの周波数は、超音波を入射させた超音波トランスジューサ近傍においては、超音波トランスジューサの端面や管壁で反射した超音波によるノイズが大きくなる。2つの超音波トランスジューサが、測定線の延長線上に配管の中心軸をはさんで対称に配置されており、各々のノイズの大きくなる領域については流速分布の算出に使用しない。
- [0014] 流速分布を算出するには、2つの超音波トランスジューサのうち一方についてその流速分布を求めてから他方の超音波トランスジューサについてその流速分布を求めることとしてもよい。また、2つの超音波トランスジューサから交互に超音波を配管内に入射させた後、2つの超音波トランスジューサの各々について流速分布を求めることとしてもよい。
- [0015] 本発明によれば、超音波の送受信に使用した超音波トランスジューサの配置されている側とは反対側について流速分布を求める。超音波トランスジューサの端面や管

壁で反射した超音波によるノイズの大きい側については流速分布の算出に用いない。また、測定線に関し対称に2つの超音波トランスジューサを配置している。このため、流れが合流する位置における流量の測定等、流速分布が中心軸に関して対称でない場合であっても、より正確な流量の測定が可能とされる。

#### 図面の簡単な説明

- [0016] [図1]従来のドップラー式超音波流量計のシステム構成図である。
- [図2]先行技術のドップラー式超音波流量計による流速分布の表示例である。
- [図3]先行技術のドップラー式超音波流量計による流速分布の補正を説明する図である。
- [図4]実施例1に係るドップラー式超音波流量計のシステム構成図である。
- [図5]実施例1のドップラー式超音波流量計が流量を測定する処理のフローチャートである。
- [図6]2つの超音波トランスジューサによる流速分布から全体の流速分布の算出を説明する図である。
- [図7]実施例2のドップラー式超音波流量計が流量を測定する処理のフローチャートである。

#### 発明を実施するための最良の形態

- [0017] 以下、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

##### <実施例1>

図4は、本実施の形態によるドップラー式超音波流量計のシステム構成図である。その流量計1は、配管2の内部を流れる被測定流体10の流量を測定する装置であり、配管2の外側に設けられた超音波トランスジューサ3aおよび3bを介して測定装置20が配管2と接続される構成を取る。配管2内を流れる液体等の被測定流体の流量を、配管2の外側から所定の周波数の超音波を所定の角度で入射させ、反射波エコーのからドップラーシフトを求め、ドップラーシフトから配管内の流速分布形状を算出し、この流速分布形状を積分して流量を求める。

- [0018] 配管2は、その内部を被測定流体10が流れる。測定装置20は、配管2内を流れる



被測定流体10の流量を測定する装置で、本実施例においては、パルス電気信号を発信させる発信器21、発信器21から発信されたパルス電気信号を超音波パルスに変換して配管2内に入射させ、配管2内で超音波がトレーサで反射した反射波エコーを受信し、反射波エコーをエコー電気信号に変換する2つの超音波トランスジューサ3aおよび3b、2つの超音波トランスジューサ3a、3bのいずれか一方を測定装置20に接続させる際に切り替えられるスイッチ26、2つの超音波トランスジューサ3aおよび3bで検知された反射波エコーをデジタル信号に変換するA/D変換器22、得られたデジタル信号から被測定流体10の流速分布を算出する流速演算回路23、流速演算回路23で算出された流速データから、超音波トランスジューサ3aあるいは超音波トランスジューサ3bにて検出された信号に基づいて流速分布を算出する流速分布演算回路24および超音波トランスジューサ3aと超音波トランスジューサ3bとから算出された流速分布より被測定流体10の流量を算出する流量演算回路25を含んで構成される。超音波トランスジューサ3aは被測定流体10の流れの上流に配置され、超音波トランスジューサ3bは、下流に配置されている。対に配置される2つの超音波トランスジューサ3aおよび3bは、測定線MLの延長線上に対称に配置されている。

[0019] 図4で示される、本実施の形態によるドップラー式超音波流量計の動作について適宜図面を参照しながら説明する。

発信器21は、任意の周波数の電気信号を発生させるオシレータと、オシレータで発生された電気信号を所定の時間間隔(繰返し周波数)でパルス状に出力させるエミッタとから構成される。発信器21で発信されたパルス電気信号を超音波トランスジューサ3aあるいは3bにて所定の基本周波数( $f_0$ とする)の超音波に変換する。変換された基本周波数 $f_0$ の超音波を、超音波トランスジューサ3aあるいは3bから配管2内に向けて所定の角度(入射角 $\alpha$ とする)で入射させる。入射した超音波は、配管2内を測定線MLに沿って直進する。

[0020] 配管2内には、被測定流体10が流れている。被測定流体10に含まれる、例えば気泡等のトレーサによって、配管2内を直進していた基本周波数 $f_0$ の超音波が反射する。反射した超音波エコーは、測定線MLに沿って直進し、再び超音波トランスジューサ3aあるいは3bでそれぞれ検知される。

- [0021] 超音波トランスジューサ3aあるいは超音波トランスジューサ3bで受信した超音波エコーは、増幅器で信号を増幅したのち、A/D変換器22でデジタル信号に変換される。このデジタルエコー信号が、流速演算回路23に入力される。
- [0022] 流速演算回路23では、発信器21から配管2内に入射された基本周波数 $f_0$ の超音波についての電気信号と、反射波から得られたデジタルエコー信号とが比較される。反射波の周波数は、配管2内で速度をもって流れる被測定流体10間を通過することにより、シフトされている。2つの信号の周波数差から被測定流体10の流速を算出する。
- [0023] 流速分布演算回路24で、測定線MLに沿った、反射波の測定領域における流速分布を得る。得られた流速分布を、超音波の入射角 $\alpha$ で較正し、配管2の中心軸5に垂直な断面における流速分布を得る。
- [0024] 流量演算回路25で、得られた流速分布を、配管2の中心軸5に垂直な断面について積分する。これにより、ある時刻における被測定流体10の流速が求められる。
- 図5は、パルスドップラー式によって被測定流体の流量を測定する処理を表すフローチャートである。被測定流体の流量測定の一連の処理は、CPUが同図においては不図示のメモリ等に格納されたプログラムを実行させることによって実現される。
- [0025] まず、ステップS201乃至ステップS204の処理で、超音波トランスジューサ3aから複数回基本周波数 $f_0$ の超音波を配管2内に入射、トレーサにて反射させ、反射波の周波数( $f$ とする)を求める。
- [0026] ステップS201では、超音波トランスジューサ3aから配管2内に基本周波数 $f_0$ の超音波を入射させる。ステップS202でサンプリングを行い、反射波の周波数 $f$ を算出するためのデータを得る。サンプリングは複数回行われる。ステップS203で、所定の回数サンプリングが行われたか否かを判断する。所定回数サンプリングが行われていない場合(ステップS203でNoの場合)は、処理はステップS201へ戻る。所定回数分サンプリングが行われると(ステップS203でYesの場合)、処理はステップS204へと進む。
- [0027] ステップS204で、ステップS201乃至ステップS203で得られたデータから、入射させた超音波の基本周波数 $f_0$ と反射波の周波数 $f$ との差分である、ドップラー周波数を

算出する。ステップS205では、ステップS204の処理で得られたドップラー周波数から流速換算を行い、流速分布を得る。なお、流速は図4の流速演算回路23において算出され、流速分布は図4の流速分布演算回路24のうち、超音波トランスジューサ3aについての回路24aにて算出される。流速分布は、配管2の中心軸5について、超音波トランスジューサ3aの取り付けられた側とは反対側について求められる。図6の(a)は、超音波トランスジューサ3aからのデータにより算出された配管2内の流速分布を表したグラフである。

[0028] 超音波トランスジューサ3bについても、ステップS206乃至ステップS210で同様の処理を行い、流速を求める。流速は図4の流速演算回路23において算出され、流速分布は図4の流速分布演算回路24のうち、超音波トランスジューサ3bについての回路24bにて算出される。ステップS210で求める流速分布は、配管2の中心軸5について超音波トランスジューサ3bの取り付けられた側とは反対側、すなわち先のステップS201乃至ステップ205で、超音波トランスジューサ3aを用いて算出していない、残りの部分についてである。図6の(b)は、超音波トランスジューサ3bからのデータにより算出された配管2内の流速分布を表したグラフである。

[0029] ステップS205で求めた、超音波トランスジューサ3aと配管2の中心軸5に関し反対の管壁側の流速分布と、ステップS210で求めた、超音波トランスジューサ3bと配管2の中心軸5に関し反対の管壁側の流速分布とのデータを併せると、配管2の中心軸5と垂直な断面全体の流速分布を得る(ステップS211)。図6の(c)は、ステップS211の処理によって得られた流速分布を表したグラフである。

[0030] ステップS211で得られた流速分布から、配管2の中心軸5と垂直な断面全体について積分し、被測定流体の流量を得る(ステップS212)。

測定線の延長線上に、配管の中心軸をはさんで対称になるように2つの超音波トランスジューサが配置される。各々の超音波トランスジューサで、配管の中心軸に関し超音波トランスジューサが設置されている側とは反対側についてのみ流速分布を算出する。ノイズの大きい超音波トランスジューサに近い側の流速分布は、全体としての流速分布を求めるのに使用しない。これにより、被測定流体の流れが配管の中心軸に関し対称でなくとも、より正確な流量分布、ひいては流量の測定が可能とされる。

### <実施例2>

本実施例は、実施例1の方法とは別の流速分布の算出方法の例に関する。以下、実施例1と共通する点についてはその説明を省略し、差異を有する点についてのみ説明することとする。

- [0031] 本実施例に係るドップラー式超音波流量計1のシステム構成図は、実施例1と同様であるのでここでは構成についての説明は割愛する。図4を参照して、本実施例に係るドップラー式超音波流量計が、流量を測定する原理について説明する。
- [0032] 発信器21から発信されたパルス電気信号が、超音波トランスジューサ3aあるいは3bにて基本周波数 $f_0$ の超音波に変換される。まず、一方の超音波トランスジューサ3aにて変換された基本周波数 $f_0$ の超音波が、超音波トランスジューサ3aから、被測定流体10の流れる配管2内に入射される。入射された超音波は、測定線MLに沿って進み、気泡等のトレーサにて反射する。反射した超音波エコーは測定線MLに沿って進み、超音波トランスジューサ3aにて受信される。次に、超音波トランスジューサ3bにて変換された基本周波数 $f_0$ の超音波が、超音波トランスジューサ3bから、被測定流体10の流れる配管2内に入射される。入射された超音波は測定線MLに沿って進み、トレーサにて反射する。反射した超音波エコーは測定線MLに沿って進み、超音波トランスジューサ3bにて受信される。
- [0033] 2つの超音波トランスジューサ3aおよび3bから交互に超音波を配管2内に入射させ、サンプリングを行った後、それぞれについて、配管2の中心軸と反対側の流速分布を求める。流速分布から、求める被測定流体10の流量を得る。
- [0034] 図7は、本実施例に係るドップラー式超音波流量計が流量を測定する処理のフローチャートである。被測定流体の流速測定の一連の処理は、CPUが同図においては不図示のメモリ等に格納されたプログラムを実行させることによって実現される。
- [0035] まず、ステップS401乃至ステップS405の処理で、2つの超音波トランスジューサから交互に超音波が発信される。超音波が流体中に含まれるトレーサで反射し、反射した超音波エコーが超音波を発信した超音波トランスジューサで受信される。2つの超音波トランスジューサからの、交互の超音波の発信は、所定の回数繰り返して行われる。

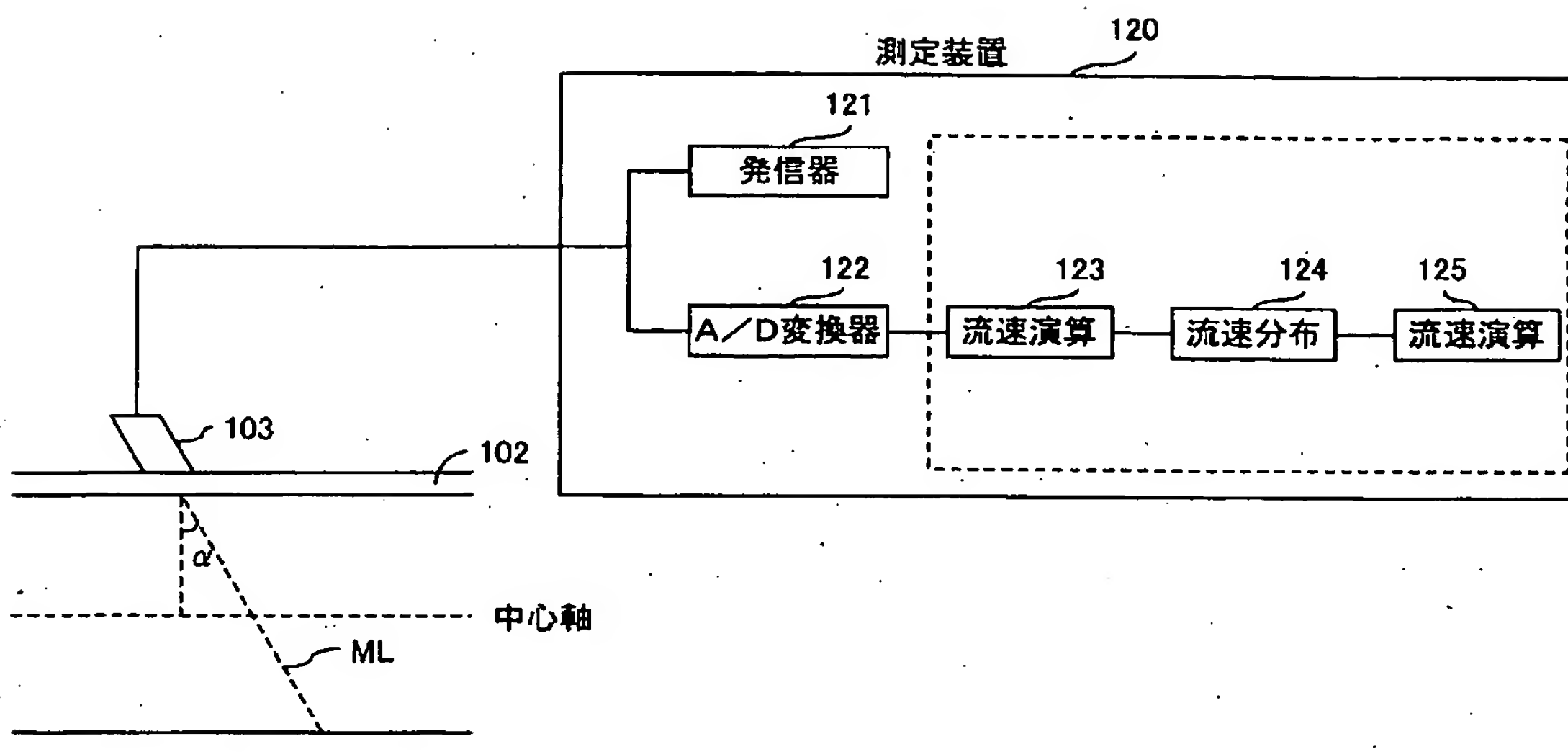


- [0036] ステップS401では、被測定流体の流れについて上流側に位置する超音波トランスジューサ3aから所定の周波数( $f_0$ とする)の超音波が入射される。ステップS402では、超音波がトレーサにて反射し、超音波エコーが超音波トランスジューサ3aにて受信される。ステップS403およびステップS404では、超音波トランスジューサ3bについても同様に所定の周波数 $f_0$ の超音波が入射され、トレーサで反射した超音波エコーが超音波トランスジューサ3bにて受信される。
- [0037] ステップS405では、所定の回数分だけサンプリングを行ったか否かを判断する。所定回数分行われていない場合(ステップS405でNoの場合)、処理はステップS401へと戻る。所定回数分測定されていた場合(ステップS405でYesの場合)、処理はステップS406へと進む。
- [0038] ステップS406では、ステップS401乃至ステップS405により得られたデータから、超音波トランスジューサ3aと配管の中心軸5に関し反対側の流速分布を算出する。同様に、ステップS407では、超音波トランスジューサ3bにおける受信波から、超音波トランスジューサ3bの配置されている側と中心軸5に関し反対側の被測定流体10の流速分布を得る。なお、ステップS406とステップS407とに関し、処理の順序は図4の手順に限られない。ステップS407の処理が先に行われ、ステップS406の処理が後に行われてもよい。
- [0039] ステップS408では、ステップS406およびステップS407から得られた超音波トランスジューサ3a、3bそれぞれの配置されている側と中心軸5に関し反対側の被測定流体10の流速分布から、配管2全体の流速分布を算出する。配管2全体の流速分布を配管2の中心軸5に垂直な断面全体について積分し、被測定流体10の流量を得る(ステップS409)。
- [0040] 本実施例に係るドップラー式超音波流量計は、システム構成が実施例1のそれと同様であることから、被測定流体の流量の測定方法に関し、本実施例の方法と実施例1の方法とで、いずれによって測定を行うかを選択する手段等を設けてもよい。
- [0041] この他、本発明は以上の例に限定されることなく、更に種々変形して実施することができる。

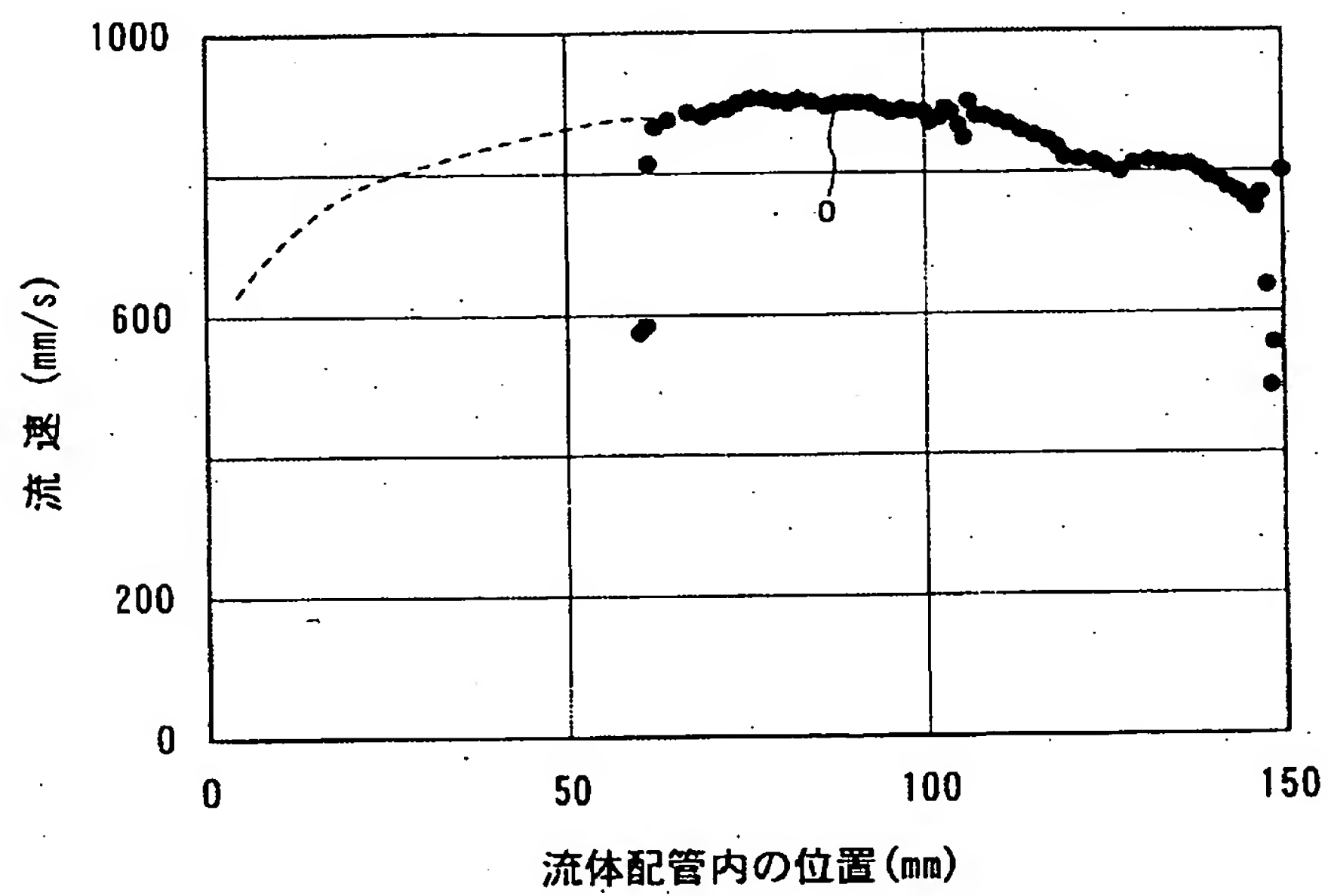
## 請求の範囲

- [1] 超音波のドップラーシフトを利用して被測定流体の流量を測定するドップラー式超音波流量計において、  
超音波の送信および超音波が反射した超音波エコーの受信を行う1対の超音波トランスジューサを備え、該1対の超音波トランスジューサは、ドップラーシフトの測定を行う測定線の延長線上に、内部を被測定流体が流れる配管の中心軸をはさんで対称に、かつ該配管の外側に配置され、  
前記配管の中心軸に関し各超音波トランスジューサが配置されている側とは反対側についての流速分布を、被測定流体の流量の算出に使用することを特徴とするドップラー式超音波流量計。
- [2] 対をなす超音波トランスジューサのうち第1の超音波トランスジューサから超音波を前記配管内に入射させ、該配管の中心軸に関し、該第1の超音波トランスジューサが配置されている側とは反対側について流速分布を算出した後、第2の超音波トランスジューサから超音波を前記配管内に入射させ、該第2の超音波トランスジューサが配置されている側とは反対側について流速分布を算出することを特徴とする請求項1に記載のドップラー式超音波流量計。
- [3] 対をなす超音波トランスジューサのうち第1の超音波トランスジューサからと第2の超音波トランスジューサからとで交互に超音波を前記配管内に入射させた後、該配管の中心軸に関し、該第1の超音波トランスジューサおよび該第2の超音波トランスジューサが配置されている側とは反対側についての流速分布をそれぞれ算出することを特徴とする請求項1に記載のドップラー式超音波流量計。

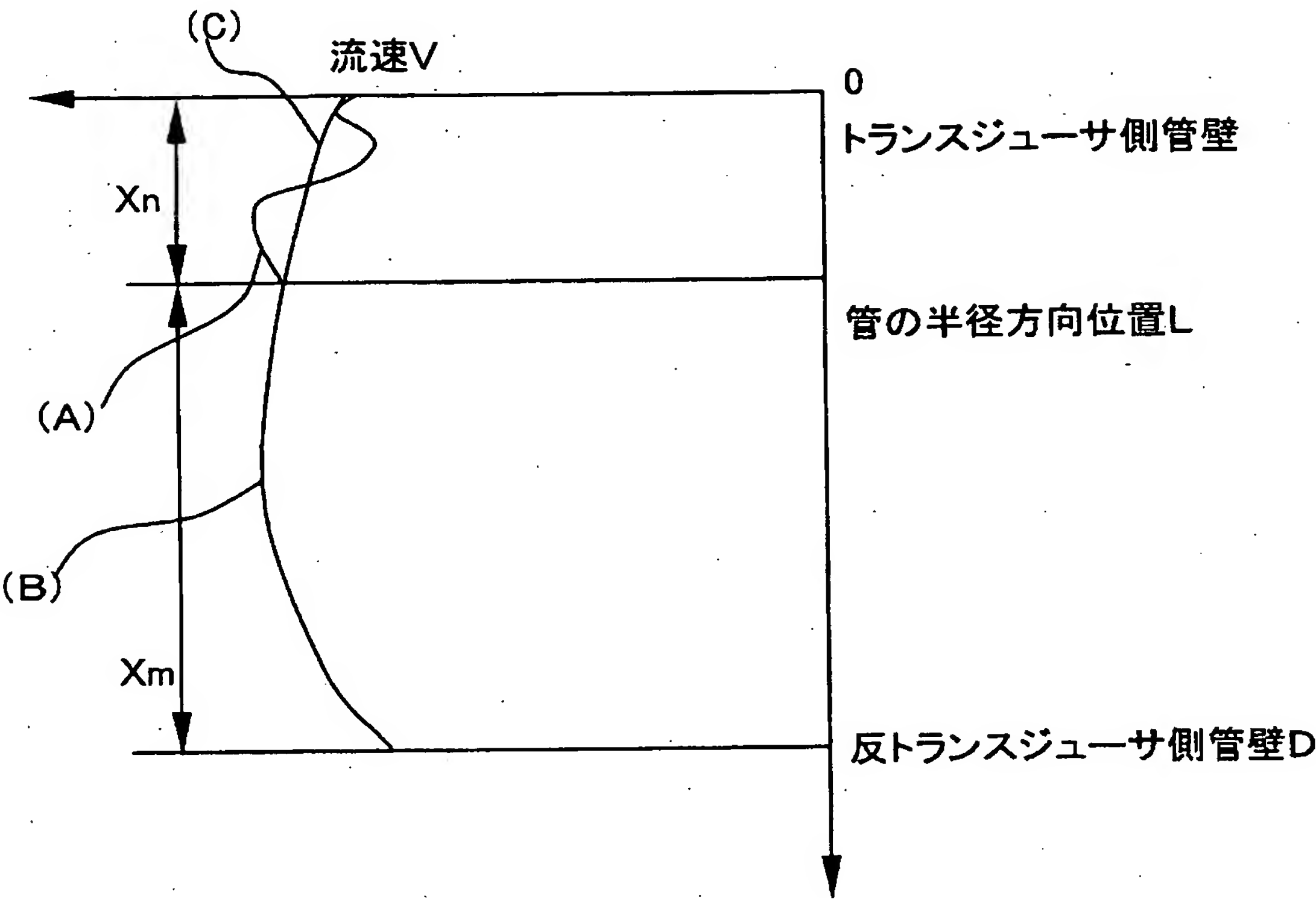
[図1]



[図2]

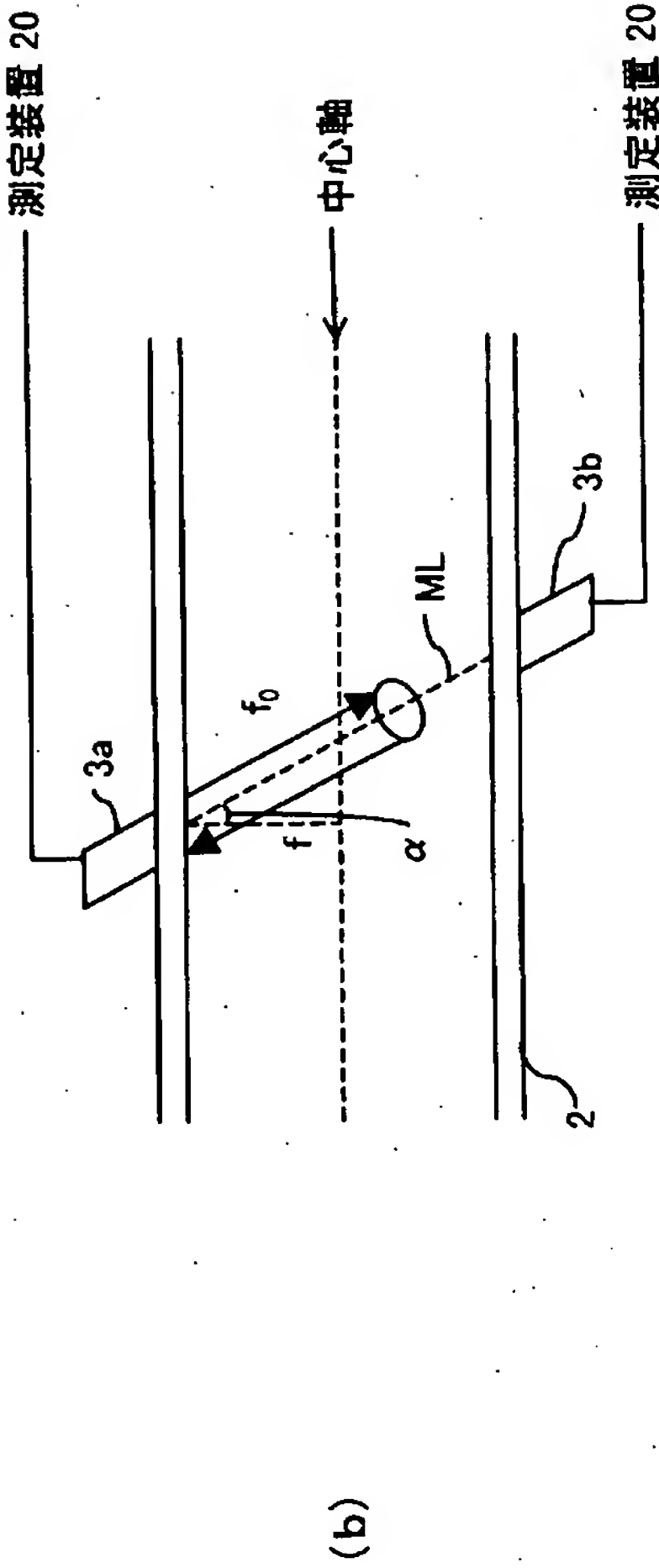
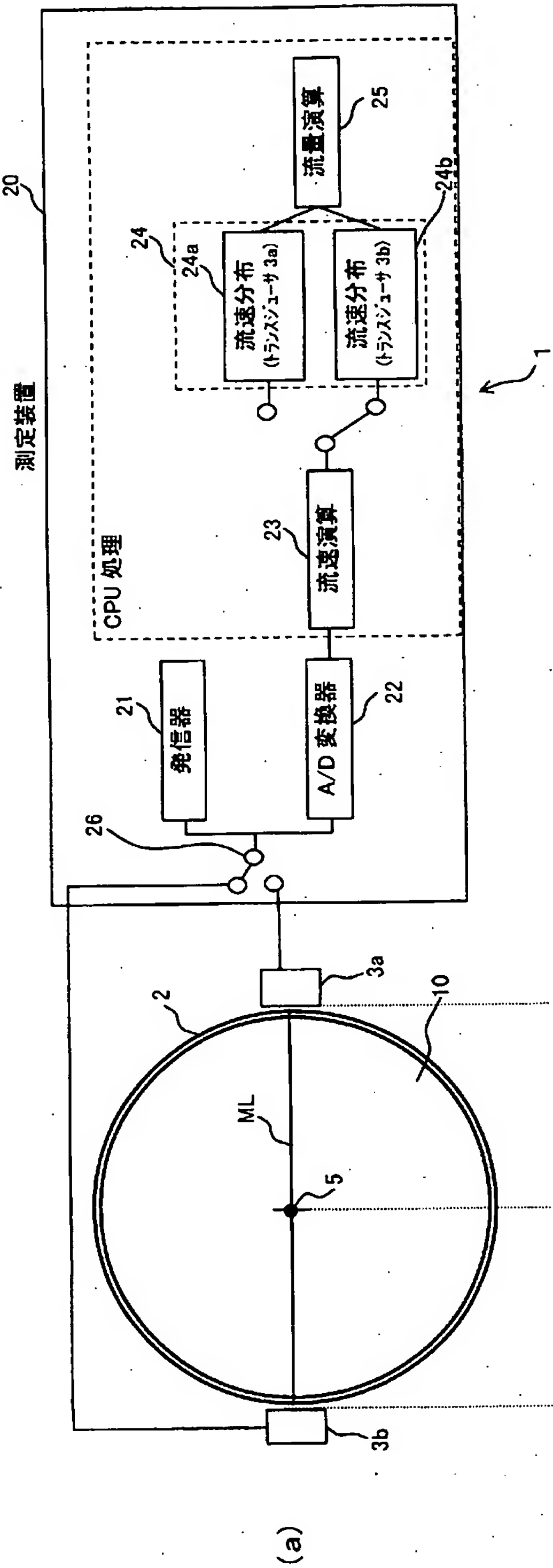


[図3]

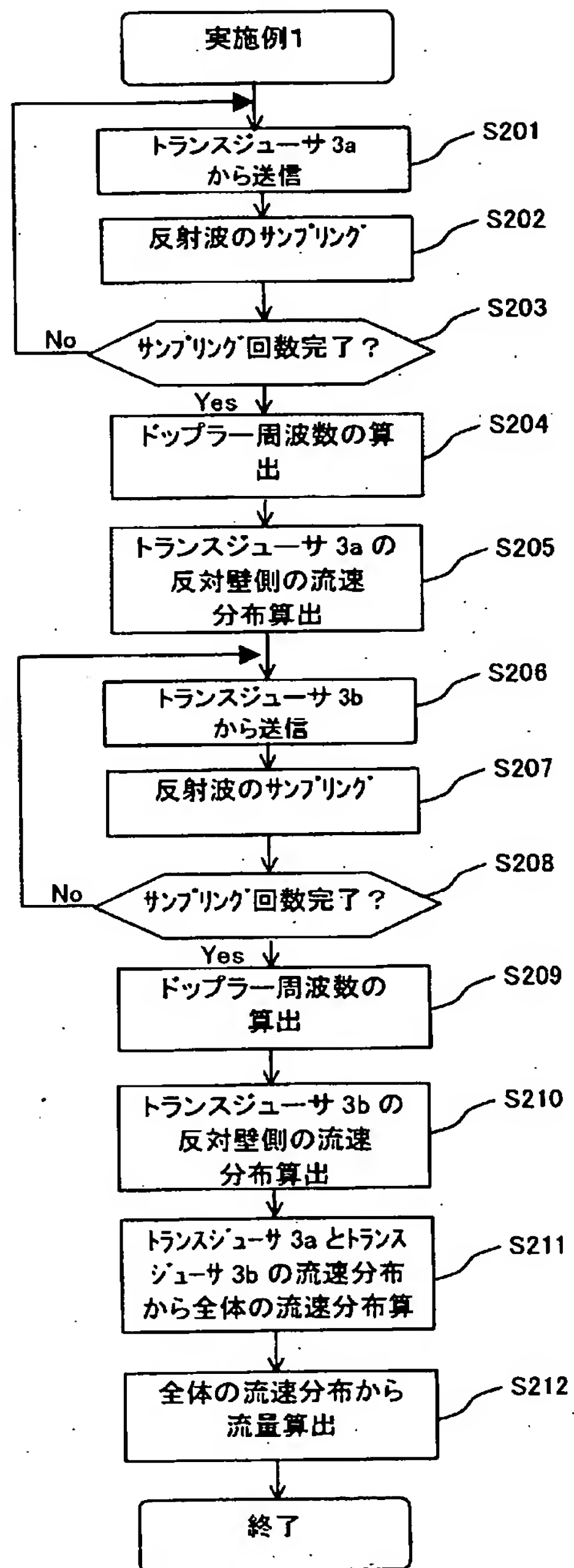




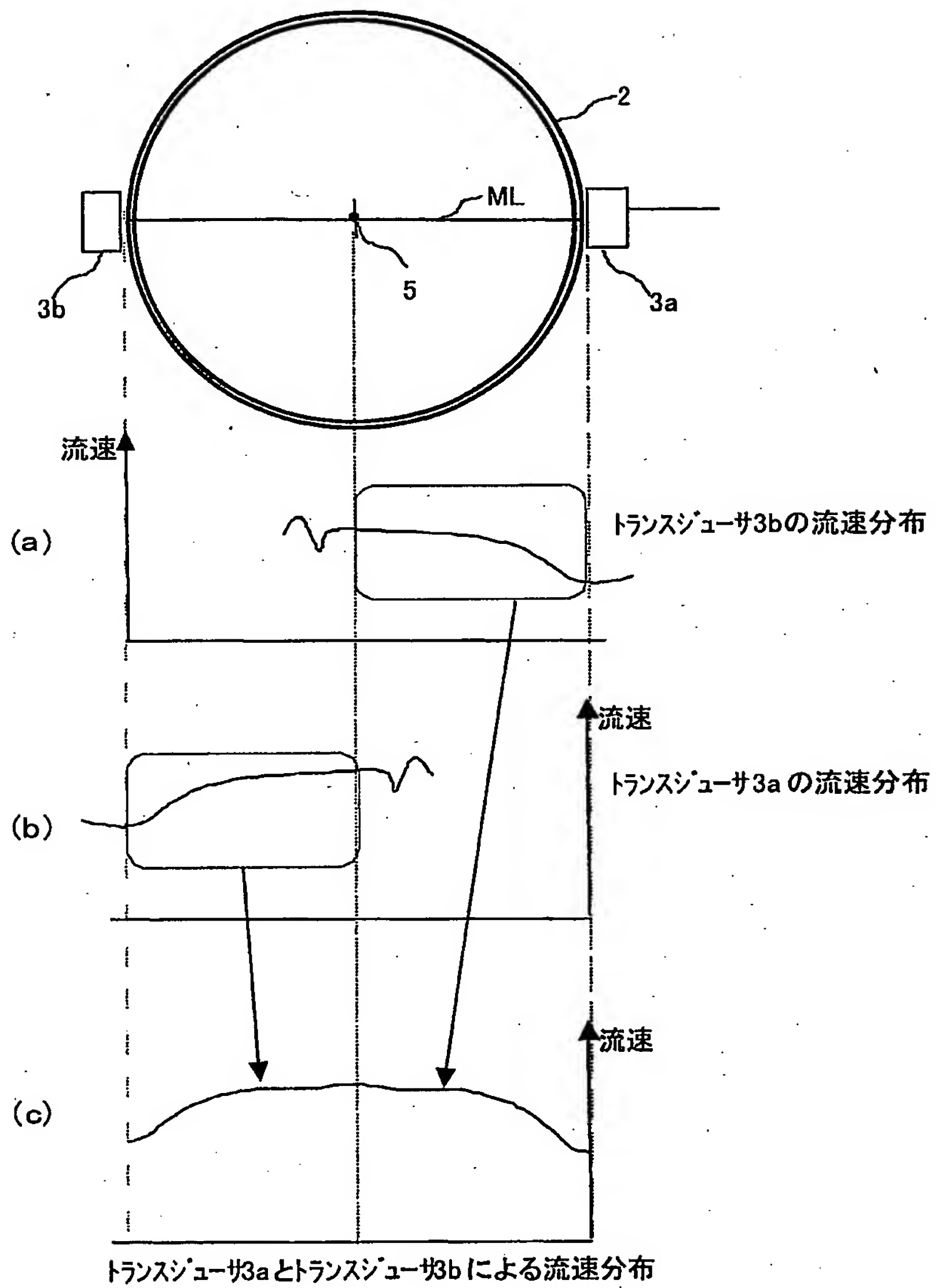
[図4]



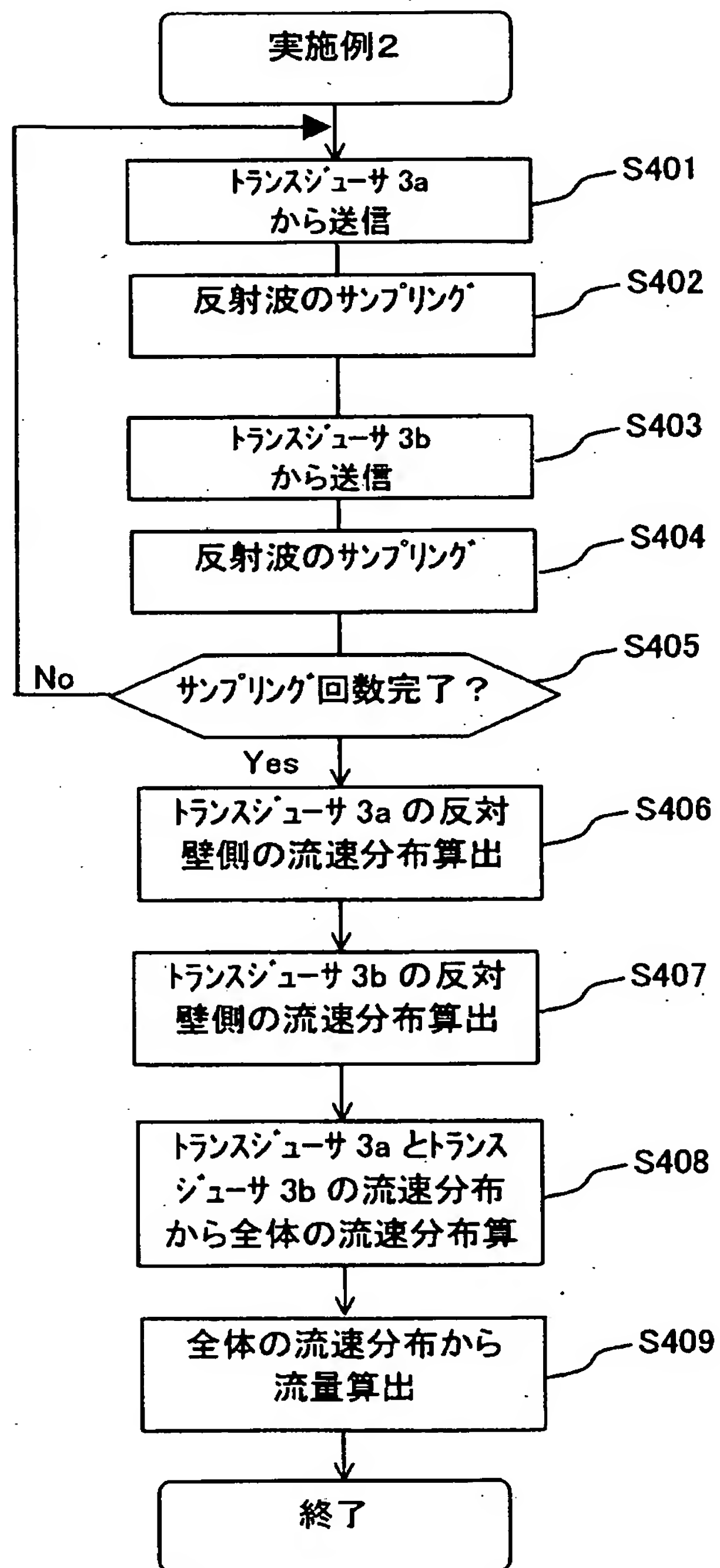
[図5]



[図6]



[図7]





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003007

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G01F1/66

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G01F1/00-9/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-281832 A (Hitachi, Ltd.), 23 October, 1998 (23.10.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-3
A	JP 2003-130699 A (The Tokyo Electric Power Co., Inc., Yasushi TAKEDA), 08 May, 2003 (08.05.03), Full text; all drawings (Family: none)	1-3
A	JP 2000-97742 A (The Tokyo Electric Power Co., Inc.), 07 April, 2000 (07.04.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
18 April, 2005 (18.04.05)

Date of mailing of the international search report  
26 April, 2005 (26.04.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003007

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 3401613 B (Hitachi Industries Co., Ltd.), 28 April, 2003 (28.04.03), Full text; all drawings (Family: none)	1-3